

순환잔골재를 사용한 무 시멘트 고로슬래그 모르타르의 배합요인에 따른 품질특성

Quality Properties of Zero Cement Blast Furnace Slag Mortar Using the Recycled Fine Aggregates Depending on Mixing Factors

(2010년 8월 30일 원고접수, 2010년 9월 17일 심사완료/ Received August 30, Accepted September 17, 2010)

한천구¹⁾, 손석현¹⁾, 박경택^{1)*}

¹⁾청주대학교 대학원 건축공학과

Cheon-Goo Han¹⁾, Seok-Heon Son¹⁾, Kyung-Taek Park¹⁾

¹⁾Div. of Architecture Engineering Graduate School Cheong-ju University, Cheong-ju, 360-764, Korea

Abstract

This study is to investigate experimentally the influence of mixing factors, such as a mortar mix proportion of non-cement mortar, flow, and W/B, on quality characteristics of blast furnace slag powder mortar incorporating dry type recycled fine aggregates. In the characteristics of fresh mortar, the W/B increased according to the increase in the flow due to the increase in water contents, but air contents decreased due to loss of air contrary to the increase in the W/B. In the case of hardened mortar, the compressive strength showed a decrease due to the highly determined W/B inversely according to the increase in the flow through the entire age in which the compressive strength increased proportionally according to the increase in the B/W. Also, the increasing rate of such compressive strength increased more largely due to the latent hydraulic property of the BS according to the passage of the age. The flexural strength at the age of 28 days according to the increase in the B/W represented a similar level in strength values without any increases. The flexural strength for the compressive strength was distributed as a range of 1/2 ~ 1/3 and that showed a higher range than that of conventional concretes.

키워드 : 순환잔골재, 건식방식, 고로슬래그 미분말, 배합요인

Keywords : Recycled Fine Aggregates, Dry Type, Blast Furnace Slag Powder, Mixing Factor

1. 서론

오늘날의 사회 구조는 점차 친환경 형태로 변모함에 따라 건설 산업에서도 다방면으로 환경부하 저감 및 재활용에 대한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 이렇게 개발된 기술 중 가장 많이 활용되는 것으로는 건축물의 해체 과정 중 발생하는 폐콘크리트를 이용하는 것으로, 무엇보다 순환골재의 제조기술 및 활용방안에 관한 연구가 각각적으로 진행되고 있다.¹⁾

그러나, 건식 생산방식으로 제조되는 순환 잔골재(이하 DRA)의 경우는 순환 굵은골재에 비해 아직까지 생산기술

수준이 낮아 골재 표면에 붙어있는 시멘트 모르타르 및 이 물질 등에 의한 품질저하로 말미암아 실무 건설공사에는 21 MPa 이하에만 사용되고 있는 실정이다.¹⁾²⁾

아울러, 또 다른 산업부산물인 고로슬래그 미분말(이하 BS)의 경우는 혼화재료로서 수화열 저감, 장기강도 증진, 수밀성 증대 등의 개선효과를 가지고 있는 반면, 잠재 수경성 반응으로 인한 초기 수화반응 지연현상 및 알칼리 소비에 따른 중성화 촉진 등의 문제점을 내포하고 있다.³⁾

따라서, 본 연구에서는 철근을 사용하지 않는 시멘트 모르타르의 제품 등 용도를 대상으로 순환골재 표면에 부착되어 있는 다량의 수산화칼슘(Ca(OH)₂)으로 BS의 잠재 수경성 반응을 촉진시킴으로써, 시멘트를 사용하지 않은 환경 친화적인 무 시멘트 모르타르 제품 생산의 가능성을 검

* Corresponding author

E-mail: taek5610@hanmail.net

토하기 위하여 배합요인에 따른 BS 모르터의 품질특성을 분석하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 순환골재의 수화반응

시멘트 입자는 물과 반응하는 수화반응의 진행과 함께 수화생성물로 덮여지고, 인근의 시멘트와 결합하여 경화체로 형성하게 되는데, 시멘트 경화체에는 CSH겔, Ca(OH)_2 , 에트리타이트 및 모노설페이트 등 여러 가지 수화생성 물질이 존재하게 된다. 특히, 이 중에서 시멘트 입자는 입자 전체가 수화반응을 하는 것이 아니라, 입자 표면의 일정 부분만 수화반응을 하고 경화 후에도 중심 부분에는 어느 정도 미수화 시멘트 입자가 존재하게 된다.

Fig 1은 일본 오타루항만 콘크리트의 장기강도 실험결과를 나타낸 그래프이다. 즉, 콘크리트가 타설되고 경화한 후, 강도를 측정하기 시작한 1주에서부터 50년 전후까지는 지속적으로 강도가 증진되고 있음을 알 수 있다. 즉, 비록 과거의 시멘트 제조공정이 정밀하지 못하여 굵은 입자들이 다수 포함되어 장기강도에 영향을 미치는 것으로 사료되지만, 최근에 제조된 시멘트일지라도 시멘트 광물의 수화라는 관점에서 보면 장기간 경과한 콘크리트 조직에 미수화시멘트가 아직 남아 있어, 본 연구의 주 목적인 미수화 시멘트의 알칼리에 의한 BS의 잠재수경성 반응 유도를 예측할 수 있다.

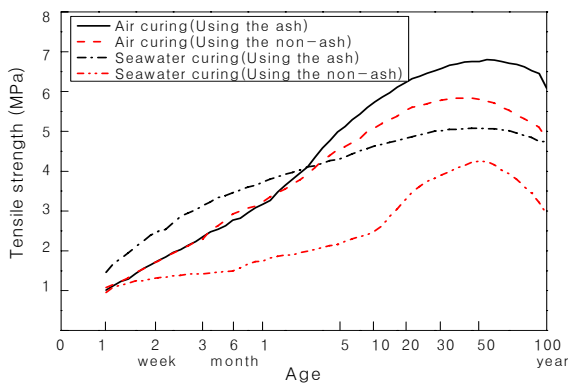


Fig 1. Long-term strength of the concrete placed at Otaru Port⁴⁾

순환골재는 건설폐기물 중 폐콘크리트를 물리·화학적 처리 과정을 통해 용도별 품질기준을 만족하는 재활용 골재이다.

따라서, 순환골재는 해체되기 이전 콘크리트 구조물의 재령경과 및 물과의 접촉 등 수화반응 진행정도에 따라 시멘트 수화물에는 다량의 미수화 시멘트가 존재하게 되는데, Fig 2와 같이 순환골재가 콘크리트로 제조되는 과정에서 골재의 표면에 부착되어 있는 미수화시멘트 입자는 물과 만나면 수산화칼슘(Ca(OH)_2)의 발생과 함께 C-S-H겔 등 수화반응이 유도되면서 어느 정도는 강도를 발휘할 수 있을 것으로 추측된다.

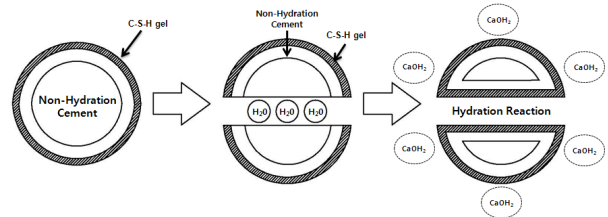


Fig 2. Hydration reaction of non-hydration cement

2.2 고로슬래그 미분말(BS)의 잠재수경성 반응

BS는 보통 포틀랜드 시멘트처럼 물과 접하는 것만으로 자기 촉발적 수화반응을 개시하지 않는 잠재수경성 물질이다. 즉, BS와 물이 접촉하게 되면 Fig 3과 같이 슬래그 입자의 표면에 치밀한 불투수성 겔박막이 형성되므로서 입자 속까지 물이 침입하는 것이 방해되어 더 이상 반응이 일어나지 못한다. 그러나 시멘트 수화물 중 알칼리(Ca(OH)_2 , KOH , NaOH 등)나 황산염(CaSO_4 , NaSO_4 등)의 자극을 받으면 이 박막이 파괴되면서 군도(群島) 구조의 겔로 변화되고, 슬래그로부터 이온의 용출과 불용성의 물질이 석출되면서 경화되기 시작하는데, 이러한 수화 기구를 잠재수경성 반응이라고 한다. 따라서, 알칼리성을 띠는 순환골재를 혼화재인 BS와 혼합해주게 되면 순환골재의 알칼리에 의해 BS의 잠재 수경성 반응이 유도되어 시멘트 없이도 고로슬래그 모르터 등 제품의 경우에는 어느 정도 강도가 발휘될 수 있을 것으로 사료된다.

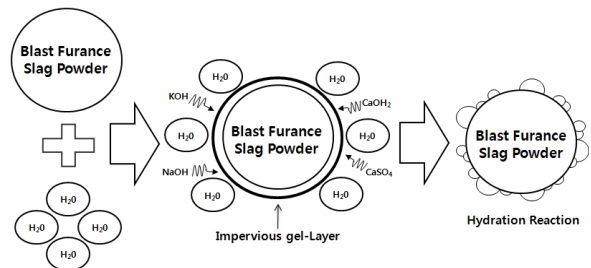


Fig 3. Schematic illustration of latent hydraulic reaction of BS

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 모르터 배합은 Table 1 및 2와 같다.

즉, BS와 DRA만을 사용한 상태에서 모르터 배합비는 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:3의 4수준을 계획하였는데, 이때, 모든 배합은 물 결합재비(W/B) 선정을 위한 플로우 변수로써 목표 플로우 100±10, 120±10, 150±10, 180±10 mm의 4수준을 만족하도록 배합 설계하여 총 16수준을 실험계획하였다. 실험항목으로는 굳지않은 모르터에서 플로우치 및 공기량, 경화 모르터에서는 압축강도 및 휨강도를 측정하고자 하였다.

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels	
Mixture	W/B(%)	1	Based on target flow
	Mix proportion	4	· 1:0.5 · 1:1 · 1:2 · 1:3
	Target flow (mm)	4	· 100±10 · 120±10 · 150±10 · 180±10
	Binder(%)	1	BS*
	Fine aggregates	1	DRA**
Experiment	Fresh mortar	2	· Flow · Air contents
	Hardened mortar	2	· Flexural strength (28 days) · Compressive strength (7, 28, 42, 91 days)

* Blast furance slag powder

** Dry type recycled fine aggregates

3.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 BS는 국내A사산 3종을 사용하였는데, 그 물리·화학적 성질은 Table 3과 같으며, DRA는 국내 D사산으로 그 물리적 성질은 Table 4, 입도분포는 Fig 4와 같다.

3.3 실험방법

본 연구에서 모르터는 KS L 5109에 준하여 전동식 혼합믹서를 사용하여 혼합하였다.

굳지 않은 모르터의 실험으로 플로우치는 KS L 5111, 공기량은 KS F 2421, 경화 모르터 실험으로 압축강도는 KS L 5405, 휨강도는 ASTM C 348 규정에 의거하여 실시하였다.

Table 2. Mixture proportions of mortar

Mix Proportion	Target Flow (mm)	W/B (%)	W (kg/m ³)	Unit weight(kg/m ³)	
				BS	DRA
1 : 0.5	100±10	25	297	1 188	594
	120±10	27	313	1 161	580
	150±10	30	336	1 121	560
	180±10	35	371	1 061	530
1 : 1	100±10	27	245	907	907
	120±10	30	265	883	883
	150±10	35	296	845	845
	180±10	37	307	832	832
1 : 2	100±10	35	210	601	1 202
	120±10	40	233	583	1 167
	150±10	45	255	566	1 133
	180±10	50	275	551	1 102
1 : 3	100±10	45	187	416	1 385
	120±10	52	210	404	1 346
	150±10	57	225	396	1 318
	180±10	62	240	388	1 293

Table 3. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Moisture content (%)	chemical composition (%)		
				Cl	SO ₃	MgO
2.90	4 254	1.91	0.23	0.002	1.95	5.26

Table 4. Physical properties of DRA

Density (g/cm ³)	FM	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve (%)
2.2	2.6	6.2	2.4

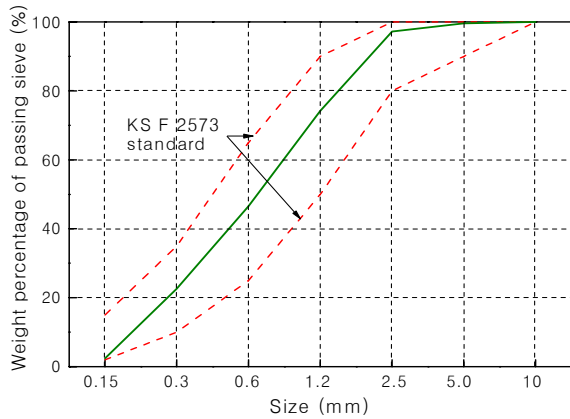


Fig 4. Grading distribution of DRA

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지 않은 모르터 특성

4.1.1 플로우

Fig 5는 모르터 배합비별 측정 플로우치 변화에 따른 W/B의 상관관계를 나타낸 것이다.

즉, W/B는 목표 플로우치가 증가할수록 동반되어 높게 선정되었고, 배합비가 커질수록 더욱 높게 선정되었다.

4.1.2 공기량

Fig 6는 모르터 배합비별 측정 플로우치 변화에 따른 공기량의 상관관계를 나타낸 것이다.

전반적으로 측정 플로우치가 증가함에 따라 공기량은 감소하였다. 단, 배합비 변수에 따른 공기량은 별다른 경향을 보이지 않았다.

4.2 경화 모르터 특성

4.2.1 플로우치에 따른 압축강도

Fig 7은 재령 및 배합비별 측정 플로우치 변화에 따른 압축강도와 그의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 전반적으로, 압축강도는 플로우치가 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다.

이는 당연한 결과이겠지만, 플로우치가 증가할수록 유동성 확보를 위해 사용된 단위수량의 증가로 인해 높게 선정된 W/B에 기인한 것으로 사료된다. 측정 플로우치와 압축강도의 상관관계는 전반적으로 음의 상관성을 보였으며, 초기 재령보다 장기 재령으로 갈수록 낮은 상관계수

값이 나타나 플로우치와 압축강도와의 상관성이 저하되는 경향을 나타내었다. 플로우치에 의한 압축강도 추정식은 그래프에 제시된 회귀식과 같다.

Fig 9는 측정 플로우치에 따른 압축강도의 회귀선을 재령별로 종합하여 나타낸 그래프이다.

앞서 언급한 바와 같이 재령과 상관없이 압축강도는 플로우치에 따라 저하하는 경향을 나타내었는데, 플로우치 범위 100 ± 10 mm을 Plain으로 하여 비교하였을 경우 120 ± 10 mm에서는 재령과 상관없이 동일하게 1%씩 저하되는 경향을 보였고, 150 ± 10 mm에서는 약 2~3%, 180 ± 10 mm에서는 약 3~5%로 나타나 플로우치가 커질수록 강도 저하폭도 비례하여 저하되는 경향을 보였다.

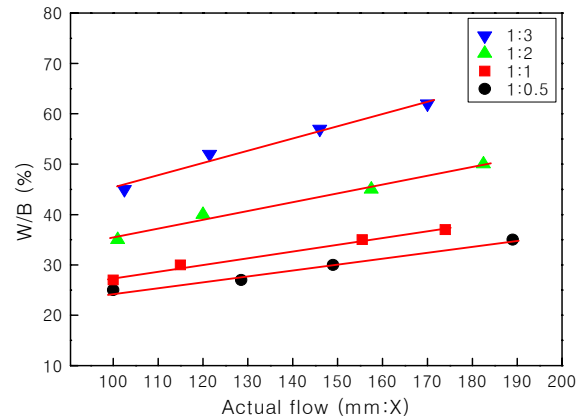


Fig 5. Relationship between of actual flow depending on W/B

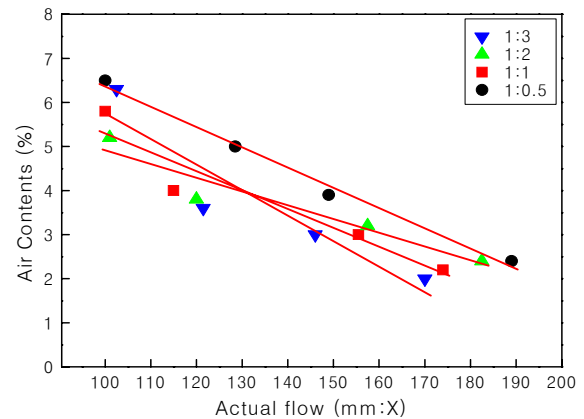
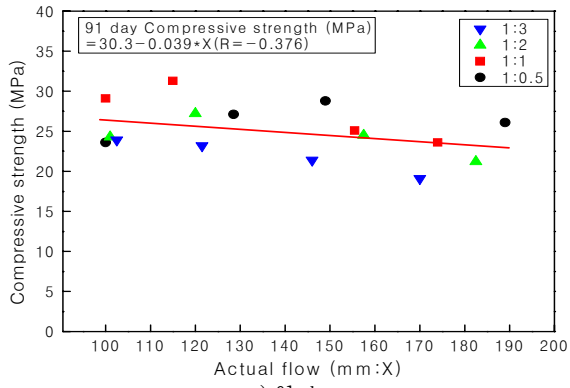


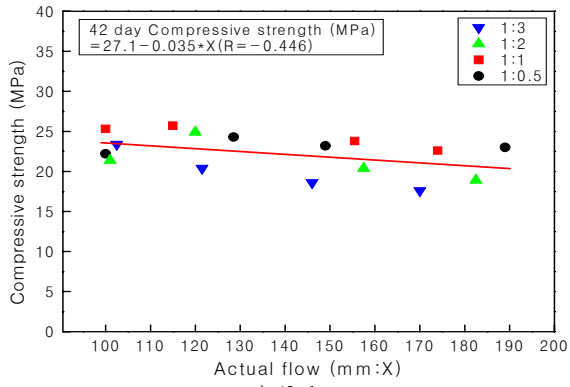
Fig 6. Relationship between of actual flow depending on air contents

4.2.2 결합재 물비(B/W)에 따른 압축강도

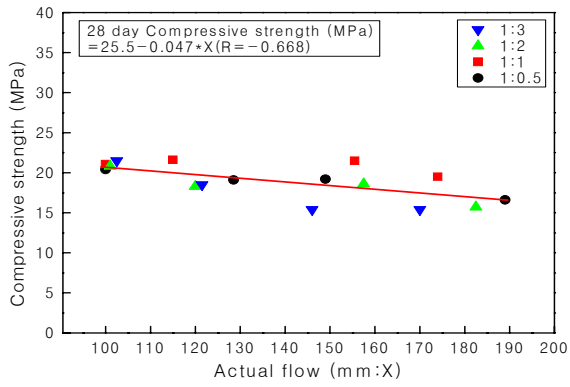
Fig 8은 재령 및 플로우치별 B/W에 따른 압축강도와



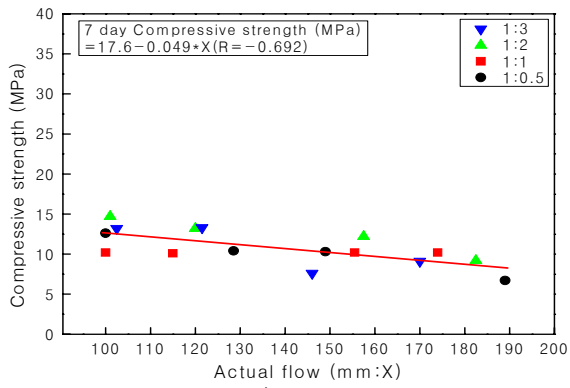
iv) 91 day



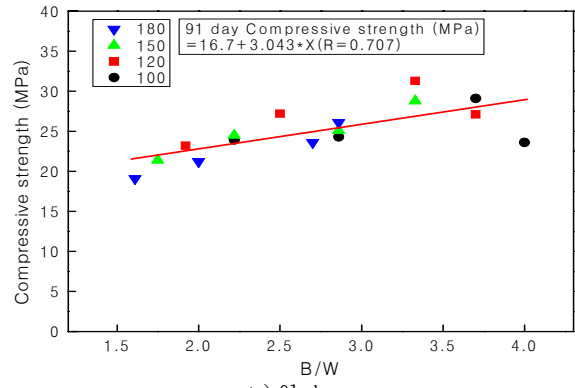
iii) 42 day



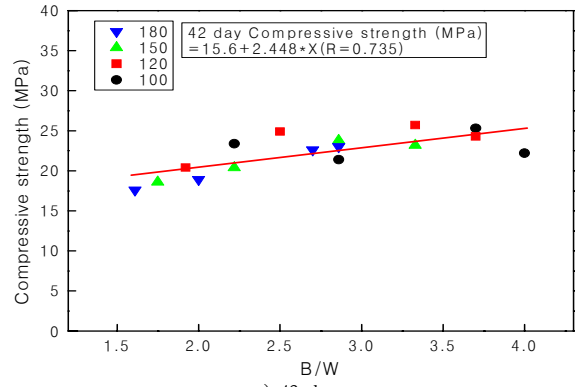
ii) 28 day



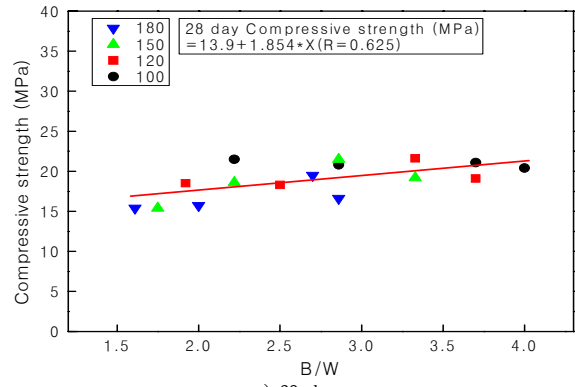
i) 7 day



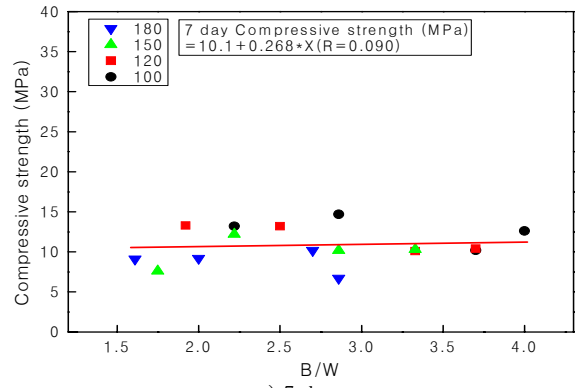
iv) 91 day



iii) 42 day



ii) 28 day



i) 7 day

Fig 7. Compressive strength depending on age and mix proportion with actual flow

Fig 8. Compressive strength depending on age and mix proportion with B/W

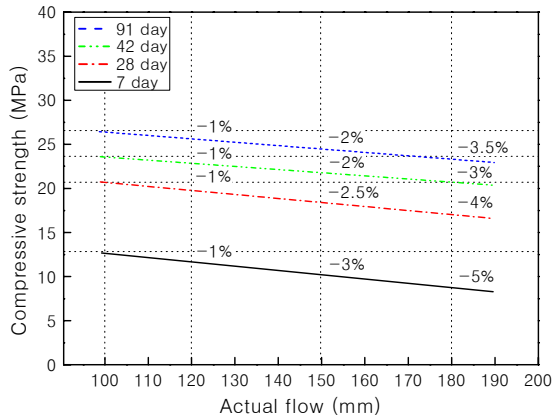


Fig 9. Linear regression of compressive strength depending on age with actual flow

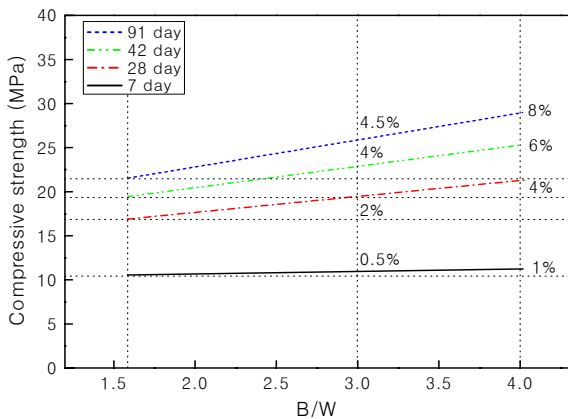


Fig 10. Linear regression of compressive strength depending on age with B/W

그의 상관관계를 나타낸 그래프이고, Fig 10은 B/W에 따른 압축강도의 회귀선을 재령별로 종합하여 나타낸 그래프이다. 여기서 B/W란 배합 설계된 W/B를 역수화한 것이다.

전반적으로 B/W가 증가할수록 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었는데, 이 중 B/W 1.6(=W/B 62 %)을 Plain으로 하여 비교하였을 경우, B/W 3.0(=W/B 33 %)의 7일 재령에서는 0.5 %, 28일 재령에서는 2 %, 42일 재령에서는 4 %, 91일 재령에서는 4.5 % 증진되는 경향을 보였고, B/W 4.0 (=W/B 25 %)의 경우 7일 재령에서 1 %, 28일 재령에서는 4 %, 42일 재령에서는 6 %, 91일 재령에서는 8 %로 나타나, 전반적으로 B/W가 증가될수록 압축강도 역시 동반되어 증진되는 경향을 보였는데, 특히 초기재령에 비해 후기재령에서는 B/W에 따른 압축강도의 증진이 크게 됨을 알 수 있었다.

이는 BS의 잠재수경성 반응이론에 기인한 것으로서, 기존의 일반적인 시멘트의 수화 반응은 초기 재령에서도 B/W가 커질수록 강도는 크게 증진되는 것이 당연한 것이

겠지만, BS의 경우는 시멘트 모르타르와는 다른 수화반응 메카니즘으로써 소정의 알칼리 성분이 용출되어야만 수화반응을 일으켜 강도를 증진시킬 수 있는데, 초기 재령에서는 수화 반응에 필요한 알칼리량을 충분히 용출시키지 못하다가 재령이 경과함에 따라 순환잔골재의 알칼리 성분이 용출됨으로 인해 BS의 불투수성 겔박막이 파괴되어, 수화반응을 촉진시키므로써 강도가 크게 증진되는 것으로 사료된다.

Fig 11은 Fig 8 중 각 재령 변화에서 B/W에 따른 압축강도의 강도증진 회귀식에서 강도증진계수 및 상수값 계수를 각 재령을 log scale로 하여 나타낸 그래프이다. 전반적으로 재령이 경과할수록 강도증진계수 및 상수값은 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 BS의 잠재수경성 반응에 의하여 재령이 경과할수록 보다 높은 압축강도를 얻음에 기인한 것으로 사료된다.

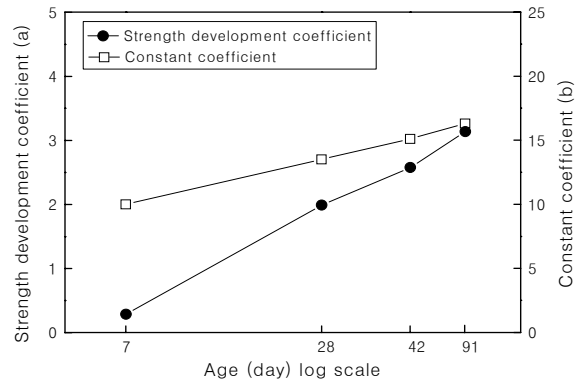


Fig 11. Strength development coefficient and constant coefficient of compressive strength depending on age

4.2.3 휨강도

Fig 12는 B/W에 따른 28일 휨강도와 그의 상관관계를 나타낸 그래프이고, Fig 13은 압축강도와 휨강도의 상관관계를 나타낸 그래프이다.

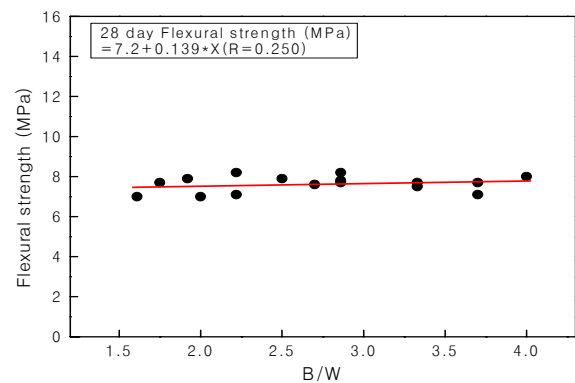


Fig 12. Relationship between flexural strength and B/W

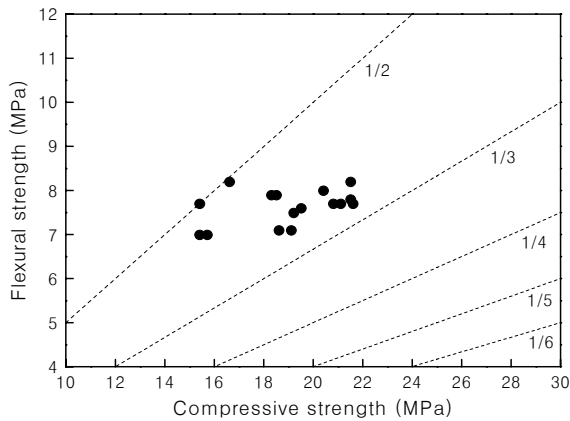


Fig 13. Relationship between compressive strength and flexural strength

먼저, B/W 증대에 따른 휨강도는 큰 증진 경향을 보이지 않고, 오히려 유사한 강도값을 나타내었는데, 이는 기본적으로 시멘트를 사용하지 않은 조건 하에서는 알칼리량과 BS량 간에 일정한 몰(mol)비에 의하여 강도가 발휘되기 때문에, B/W에 따라 휨강도의 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 분석된다.

휨강도와 압축강도의 비율은 대체적으로 1/2 ~ 1/3의 범위 내에 분포되고 있는데, 이는 일반적인 보통 콘크리트의 경우 휨강도와 압축강도의 관계가 1/5 ~ 1/7 인 점을 고려하면 전반적으로 휨강도의 비가 높게 형성됨을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구는 순환잔골재에 BS만을 사용하는 무 시멘트 모르타의 배합요인 변화가 BS 모르타의 품질특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지 않은 모르타의 특성으로 플로우치가 증가할수록 단위수량의 증가에 기인하여 W/B는 높아지는 경향이 나타났고, 공기량은 W/B와 반대로 공기포의 소실이 용이해짐에 따라 감소하는 경향을 보였다.

2) 압축강도는 전체 재령에서 플로우치가 증가할수록 높게 선정된 W/B로 인해 반비례적으로 저하하는 것으로 나타났고, B/W 증가에 따라서는 비례적으로 증가하는 것으로 나타났는데, 재령이 경과할수록 BS의 잠재수경성 반응에 기인하여 압축강도의 증가폭은 더욱 향상되었다.

3) B/W 증가에 따른 재령 28일 휨강도는 거의 증가하지 않고 유사한 강도값을 나타내었는데, 압축강도에 대한

휨강도비는 대체적으로 1/2 ~ 1/3의 범위 내에 분포되어, 일반적인 콘크리트의 범위보다 높은 값이었다.

참고문헌

- 1) 이도현 ; 콘크리트용 재생(순환)골재의 재활용을 위한 문제점 및 대책, 대한주택공사, 주택도시, 제83호, pp29 ~ 35, 2004.
- 2) 박경택, 손호정, 손석현, 백대현, 한민철, 한천구 ; 순환골재와 고로슬래그 미분말의 수화반응성 메카니즘, 한국건설순환자원학회 학술발표논문집, 제2권 제1호, pp. 37~40, 2010.
- 3) 고로시멘트의 특성과 응용, 동양시멘트(주), pp. 12~15, 1995. 06,
- 4) 한천구 ; 레미콘 품질관리(I),(II),(III) 기문당, 2002 ~ 2010.
- 5) 박경택, 손호정, 손석현, 한민철, 백병훈, 한천구; 순환잔골재 사용 고로슬래그 모르타의 특성에 미치는 플로우치의 영향, 한국건설순환자원학회 학술발표논문집, 제2권 제1호, pp. 55~58, 2010.
- 6) 박경택, 손호정, 손석현, 백대현, 한민철, 한천구 ; 순환잔골재 사용 고로슬래그 모르타의 특성에 미치는 배합비의 영향, 한국건설순환자원학회 학술발표논문집, 제2권 제1호, pp. 47~50, 2010.
- 7) ‘콘크리트용 순환골재’ 한국산업규격 KS F2573 해설서, 기술표준원.
- 8) 국토해양부, 순환골재 품질기준, 2005. 08.
- 9) 한국콘크리트학회 ; 콘크리트 표준시방서, 2009.
- 10) 한국콘크리트학회 ; 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997.
- 11) 신동인 ; 폐콘크리트의 品質이 재생콘크리트의 특성에 미치는 영향, 명지대학교 박사학위 논문, 1998.
- 12) 한천구 ; 콘크리트의 특성과 배합설계, 기문당, 1999.
- 13) Frondistou Y.S ; Waste concrete as aggregate for new concrete, ACI journal, pp.373-376, 1977.
- 14) A.M.Neville ; Properties of Concrete (3rd Edition), Pitman, 1981.
- 15) Y. Totani, Y. Saito, and M. Kageyama ; The Hydration of Blast Furnace Slag Cement, 5th International Congress on Chemistry of Cement, PARIS, 1980.
- 16) 日本建築學會 ; 콘크리트의 調合設計指針·同解説, 1994.
- 17) 日本建築學會 ; 高流動콘크리트의 材料調合製造施

工指針(案)同解説, 1997.

- 18) 笠田芳夫, 小林正凡 ; セメント・コンクリート用混和材料, 技術書院, 1986.

순환잔골재를 사용한 무 시멘트 고로슬래그 모르터의 배합요인에 따른 품질특성

본 연구는 순환잔골재에 고로슬래그 미분말 만을 사용한 무 시멘트 모르터의 모르터 배합비, 플로우치, W/B 등 배합요인 변화가 품질특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 굳지 않은 모르터의 특성으로, 플로우치가 증가할수록 단위수량의 증가에 기인하여 W/B는 커지는 것으로 나타났고, 공기량은 W/B의 증가와 반대로 공기포의 소실이 용이해짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 경화 모르터의 경우, 압축강도는 전체 재령에서 플로우치가 증가할수록 높게 선정된 W/B로 인해 반비례적으로 저하하는 것으로 나타났고, B/W의 증가에 따라서는 비례적으로 증가하게 나타났는데, 재령이 경과할수록 BS의 잠재수경성 반응에 의해 압축강도의 증가폭은 더욱 향상되었다. B/W의 증가에 따른 재령 28일 휨강도는 거의 증가 없이 유사한 강도값을 나타내었는데, 압축강도에 대한 휨강도의 비는 대체적으로 1/2 ~ 1/3의 범위 내에 분포되어, 일반적인 콘크리트의 범위보다 높게 형성되었다.